

УДК 681.5.015.23:629.424

**Дмитрієнко В.Д.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (УКРАЇНА)

**Носков В.І.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (УКРАЇНА)

**Заковоротний О.Ю.**, кандидат технічних наук, доцент, докторант Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (УКРАЇНА)

## ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ

Робота присвячена розв'язанню проблеми підвищення експлуатаційних характеристик тягового рухомого складу на основі розроблення нових математичних моделей та засобів оптимізації динаміки рухомих об'єктів з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, а також розробки нової технології обробки інформації на основі стабільно-пластичних нейронних мереж, яка створює теоретичну передумову побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень машиністом тягового рухомого складу.

*Ключові слова:* нові математичні моделі, оптимізація динаміки рухомих об'єктів, стабільно-пластичні нейронні мережі, система підтримки прийняття рішень машиністом.

**Постановка проблеми.** Тяговий рухомий склад Укрзалізниці є одним з основних видів транспорту на Україні та найбільшим споживачем дизельного палива і електроенергії. Тому зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів є однією з стратегічних цілей державної політики в напрямку розвитку залізничного транспорту. У зв'язку з цим розробка та впровадження на залізничному транспорті України систем, що оптимізують процеси керування та поліпшують економічні, енергетичні та експлуатаційні характеристики тягового рухомого складу є безумовно актуальним завданням, в особливості у наш час, який характеризується серйозними кризовими явищами, і як наслідок, прагненням до економії всіх видів енергоресурсів. Питаннями оптимізації процесів керування рухомих складом за останні десятиліття займалися багато вчених, однак в більшості цих досліджень використовувалися моделі, що описуються системами звичайних нелінійних диференціальних рівнянь не вище 5-6 порядку. З одного боку, це дозволило вирішити ряд завдань оптимального керування, але, з іншого боку, занадто спрощений опис об'єкта керування не дозволяв досліджувати цілий ряд процесів, що впливають на енергетичні витрати тягового рухомого складу. Крім того, навіть при спрощеному описі об'єкта виникають серйозні труднощі при синтезі оптимальних регуляторів за допомогою більшості відомих методів теорії оптимального керування. У зв'язку з цим перспективним і доцільним є розробка більш точних математичних моделей рухомого складу та створення спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення завдань оптимального керування об'єктом, що описуються системами звичайних диференціальних рівнянь високого порядку. Ще одним з основних шляхів зменшення енерговитрат тягового рухомого складу є розробка та впровадження систем керування, що дозволяють, без істотних фінансових витрат на їх розробку, раціонально використовувати наявні паливно-енергетичні ресурси. До подібних систем, в першу чергу, відносяться системи підтримки прийняття рішень, які в реальному часі видають оптимальні, з точки зору витрат енергії та дотримання графіку руху, стратегії ведення рухомого складу. Тому розробка для тягового рухомого складу України бортових комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень машиністом, є актуальною науково-прикладною проблемою. І вирішувати цю проблему необхідно на основі розробки точніших моделей руху, що моделюють ширший спектр динамічних режимів, та нових засобів оптимізації динаміки рухомих об'єктів з використанням останніх досягнень сучасних комп'ютерних технологій, спеціалізованого програмного забезпечення та методів, алгоритмів й технологій штучного інтелекту, зокрема напрямку пов'язаному із застосуванням штучних нейронних мереж.

**Метою дослідження** є поліпшення експлуатаційних характеристик тягового рухомого складу на основі розробки точніших математичних моделей та засобів оптимізації динаміки

рухомих об'єктів з використанням спеціалізованого програмного забезпечення та нової технології обробки інформації на основі стабільно-пластичних нейронних мереж.

Для досягнення мети було виконано: аналіз науково-технічної літератури, що дозволив простежити тенденції розвитку методів синтезу систем автоматичного керування тяговим рухомим складом та кроки вдосконалення існуючих бортових комп'ютерних систем керування та підтримки прийняття рішень, що застосовуються на сучасному залізничному транспорті. Показана необхідність розробки нових вітчизняних систем оптимального керування рухомим складом на основі геометричної теорії керування та штучних нейромережевих технологій. Розроблено нові математичні моделі руху дизель-поїзда, що, на відміну від існуючих моделей, які описують повздовжні коливання вагонів або один еквівалентний тяговий асинхронний привод, враховують повздовжні коливання й бічне відхилення вагонів поїзда та розподіл сил взаємодії між ними, буксування та паралельну роботу приводів обмоторених вагонів, що дозволило точніше описати процеси, які відбуваються в об'єкті, перевірити закони керування та дослідити інтелектуальну комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень машиністом. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє моделювати процеси руху рухомого складу, автоматизувати аналітичні перетворення геометричної теорії керування при синтезі лінійних моделей у формі Бруновського для об'єктів, що описуються системами звичайних диференціальних рівнянь високого порядку, обчислювати функції переходу між змінними нелінійної моделі об'єкта та змінними моделі у формі Бруновського, синтезувати та перевіряти оптимальні закони керування тяговим рухомим складом та моделювати складові бортової інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень: нейромережеві бази даних та знань, систему діагностики тягового асинхронного приводу й систему виявлення та прогнозування буксування. За допомогою диференціальної геометрії, яка надає можливість моделям здійснювати перехід в новий фазовий простір де вони стають лінійними та залишаються еквівалентними вихідним нелінійним моделям, розроблена лінійна модель руху дизель-поїзда у канонічній формі Бруновського, що, на відміну від існуючих моделей, які описують лише один еквівалентний тяговий асинхронний привод, враховує основні види коливань вагонів рухомого складу та розподіл сил взаємодії між ними, а також паралельну роботу тягових асинхронних приводів обмоторених вагонів, що дозволило виконати моделювання об'єкту у фазовому просторі «вхід – стан» в основних динамічних режимах його роботи та вирішити завдання оптимального керування тяговим рухомим складом. За допомогою принципу максимуму вирішені дві задачі оптимального керування тяговим рухомим складом: максимальної швидкодії й мінімізації зваженої лінійної комбінації часу та витрати квадрата керування, що дозволило, з одного боку, одержати для кожної ділянки залізничної колії закони керування рухомим складом, які визначають мінімально необхідний час для подолання перегону, а з іншого боку, одержати закони керування дизель-поїздом, які забезпечують графік руху та мінімізацію витрати паливо-енергетичних ресурсів. Розроблено бортову комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень, що, на основі нових математичних моделей, спеціалізованого програмного забезпечення та нових нейромережевих баз даних, баз знань та систем діагностики приводів й прогнозування буксування колісних пар, дозволяє в реальних умовах швидкісного руху й поточній зміні дорожньої обстановки видавати машиністу закони керування дизель-поїздом, дотримуючись яких виконується графік руху, мінімізується витрата паливо-енергетичних ресурсів та підтримуються комфортні умови для пасажирів. На лінійних і нелінійних математичних моделях та реальному об'єкті проведені експериментальні дослідження бортової інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень машиністом й законів оптимального керування рухомим складом, які підтвердили достовірність запропонованих рішень по оптимізації процесів керування рухомим складом.

**Висновок.** Таким чином були поліпшені експлуатаційні характеристики тягового рухомого складу, на основі розробки точніших математичних моделей та засобів оптимізації динаміки рухомих об'єктів з використанням спеціалізованого програмного забезпечення та бортових комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень машиністом, побудованих на основі нейромережевих технологій.